

TNO-rapport
TM-96-A025

titel
**Evaluatie inzetbaarheid van de PG1MS
nachtzichtkijker**

TNO Technische Menskunde

[Faint, illegible text, possibly a stamp or signature]



19960801 144



TNO-rapport
TM-96-A025

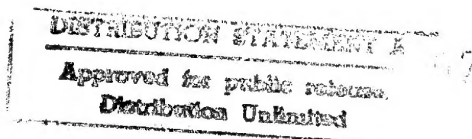
TNO Technische Menskunde

Kampweg 5
Postbus 23
3769 ZG Soesterberg

Telefoon 0346 35 62 11
Fax 0346 35 39 77

titel

Evaluatie inzetbaarheid van de PG1MS nachtzichtkijker



auteur

F.L. Kooi

datum

17 juni 1996

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onderzoeks-
opdrachten aan TNO, dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 1996 TNO

aantal pagina's

: 20

(incl. bijlagen,
excl. distributielijst)



REPORT DOCUMENTATION PAGE

1. DEFENCE REPORT NUMBER (MOD-NL) RP 96-0161	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER TM-96-A025
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 786.2	5. CONTRACT NUMBER A93/KL/363	6. REPORT DATE 17 June 1996
7. NUMBER OF PAGES 20	8. NUMBER OF REFERENCES 8	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Interim
10. TITLE AND SUBTITLE Evaluatie inzetbaarheid van de PG1MS nachtzichtkijker (Evaluation of the usability of the PG1MS night-vision goggle)		
11. AUTHOR(S) F.L. Kooi		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Human Factors Research Institute Kampweg 5 3769 DE SOESTERBERG		
13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Director of Army Research and Development Van der Burchlaan 31 2597 PC DEN HAAG		
14. SUPPLEMENTARY NOTES		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 BYTE) The PG1MS night-vision goggle (NVG) was compared to more modern NVGs on visual acuity and vehicle detection. Visual acuity was measured over a large range, covering all relevant light levels. When possible, the percentage of nights a NVG yields sufficient resolution to perform a task was calculated, using the statistical distribution of nighttime light levels in The Netherlands. The more modern NVGs can be used in up to 50% more of the nights for target detection. Suggestions are made for possible further use of the PG1MS NVGs.		
16. DESCRIPTORS Illumination Image Intensifiers Night Vision Visual Acuity		
IDENTIFIERS		
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)
18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT Unlimited availability		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES)

titel : Evaluatie inzetbaarheid van de PG1MS nachtzichtkijker
auteur : Dr. F.L. Kooi
datum : 17 juni 1996
opdrachtnr. : A93/KL/363
IWP-nr. : 786.2
rapportnr. : TM-96-A025

Op verzoek van de DMKL werd de bruikbaarheid van de PG1MS geëvalueerd voor object detectie, het verplaatsen van voertuigen met ingeschakelde black-out verlichting en voor het lopen in open en bebost terrein. Er werd een methode ontwikkeld om de inzetbaarheid van een HV-kijker te berekenen aan de hand van gezichtsscherptemetingen welke zowel in het laboratorium als in het veld uitgevoerd kunnen worden, op alle relevante lichtniveaus. Inzetbaarheid is gedefinieerd als het percentage van de nachten in een jaar dat de HV-kijker voor een bepaalde taak gebruikt kan worden. De inzetbaarheid van HV-kijkers wordt geschat aan de hand van gemeten gezichts-scherpte, de helderheid van de te detecteren objecten en de omgeving, en de statistiek van de in Nederland voorkomende nachtelijke lichtniveaus. Er werd speciaal aandacht besteed aan de invloed van schaduwwerking en het gebruik van camouflage omdat die voor de militaire praktijk van groot belang zijn.

De PG1MS geeft een groot voordeel boven het blote oog voor het 's nachts detecteren van kleinere objecten. Nieuwere HV-kijkers zijn echter beter en gaan 10 à 30× lager in lichtniveau. Dit heeft een stijging in inzetbaarheid tot gevolg voor voertuigdetectie. De PG1MS is nuttig voor het detecteren van kuilen in de weg en naar alle waarschijnlijkheid in de meeste nachten voldoende voor navigatie op de weg volgens de berekende inzetbaarheid. Vergeleken met het ongewapende oog is de bruikbaarheid van de PG1MS voor (patrouille) lopen van beperkt nut omdat de winst in detectie-afstand samengaat met een kleiner gezichtsveld, extra gewicht, en moeizame dieptewaarneming en terreinherkenning.

Samengevat, de inzetbaarheid van de PG1MS is t.o.v. modernere HV-kijkers beduidend minder. Voor bovengenoemde toepassingen heeft de PG1MS echter altijd nog een duidelijke meerwaarde t.o.v. het ongewapende oog. Door de inzetbaarheid van PG1MS en modernere HV-kijkers per taak te vergelijken kan een weloverwogen keuze gemaakt worden.

titel : Evaluatie inzetbaarheid van de PG1MS nachtzichtkijker
auteur : Dr. F.L. Kooi
datum : 17 juni 1996
opdrachtnr. : A93/KL/363
IWP-nr. : 786.2
rapportnr. : TM-96-A025

Op verzoek van de DMKL werd de bruikbaarheid van de PG1MS geëvalueerd voor object detectie, het verplaatsen van voertuigen met ingeschakelde black-out verlichting en voor het lopen in open en bebost terrein. Er werd een methode ontwikkeld om de inzetbaarheid van een HV-kijker te berekenen aan de hand van gezichtsscherptemetingen welke zowel in het laboratorium als in het veld uitgevoerd kunnen worden, op alle relevante lichtniveaus. Inzetbaarheid is gedefinieerd als het percentage van de nachten in een jaar dat de HV-kijker voor een bepaalde taak gebruikt kan worden. De inzetbaarheid van HV-kijkers wordt geschat aan de hand van gemeten gezichts-scherpte, de helderheid van de te detecteren objecten en de omgeving, en de statistiek van de in Nederland voorkomende nachtelijke lichtniveaus. Er werd speciaal aandacht besteed aan de invloed van schaduwwerking en het gebruik van camouflage omdat die voor de militaire praktijk van groot belang zijn.

De PG1MS geeft een groot voordeel boven het blote oog voor het 's nachts detecteren van kleinere objecten. Nieuwere HV-kijkers zijn echter beter en gaan 10 à 30× lager in lichtniveau. Dit heeft een stijging in inzetbaarheid tot gevolg voor voertuigdetectie. De PG1MS is nuttig voor het detecteren van kuilen in de weg en naar alle waarschijnlijkheid in de meeste nachten voldoende voor navigatie op de weg volgens de berekende inzetbaarheid. Vergeleken met het ongewapende oog is de bruikbaarheid van de PG1MS voor (patrouille) lopen van beperkt nut omdat de winst in detectie-afstand samengaat met een kleiner gezichtsveld, extra gewicht, en moeizame dieptewaarneming en terreinherkenning.

Samengevat, de inzetbaarheid van de PG1MS is t.o.v. modernere HV-kijkers beduidend minder. Voor bovengenoemde toepassingen heeft de PG1MS echter altijd nog een duidelijke meerwaarde t.o.v. het ongewapende oog. Door de inzetbaarheid van PG1MS en modernere HV-kijkers per taak te vergelijken kan een weloverwogen keuze gemaakt worden.

INHOUD	Blz.
SAMENVATTING	3
SUMMARY	4
1 INTRODUCTIE	5
2 PROJECT OVERZICHT	5
3 VERDELING VAN LICHTNIVEAUS IN NEDERLAND	5
4 VERTAALSLAG VAN HEMEL-LICHTNIVEAU NAAR TERREINHEDERHEID	6
4.1 Reductie in helderheid door schaduw	7
4.2 Definitie van inzetbaarheid	9
5 GEZICHTSSCHERPTE MET HV-KIJKERS ALS FUNCTIE VAN LICHTNIVEAU	9
6 VELDBEPROEVING	11
6.1 Locatie	11
6.2 Lichtniveaus	12
6.3 HV-kijkers	12
6.4 Meetprocedure	12
6.4.1 Gezichtsscherpte	12
6.4.2 Voertuigdetectie	12
6.4.3 Terreinherkenning	13
6.4.4 Rijden met en zonder black-out verlichting	13
6.5 Resultaten	13
6.5.1 Gezichtsscherpte	13
6.5.2 Resultaten voertuigdetectie	13
6.5.3 Berekening inzetbaarheid voor voertuigdetectie uit velddata	14
6.5.4 Berekening inzetbaarheid voor voertuigdetectie uit laboratorium data	15
6.5.5 Terrein herkenning en patrouillelopen	16
6.5.6 Inzetbaarheid voor het rijden met en zonder black-out verlichting	16
6.6 Andere gebruikersaspecten van de PG1MS	17
7 CONCLUSIES	17
REFERENTIES	19
BIJLAGE: Schaduwwerking	20

Rapport nr.: TM-96-A025
Titel: Evaluatie inzetbaarheid van de PG1MS nachtzichtkijker
Auteur: Dr. F.L. Kooi
Instituut: TNO Technische Menskunde
Afd.: Waarneming
Datum: juni 1996
DO Opdrachtnummer: A93/KL/363
Nummer in MLTP: 786.2

SAMENVATTING

De PG1MS helderheidsversterker is vergeleken met modernere HV-kijkers wat betreft gezichtsscherpte en voertuigdetectie. De gezichtsscherpte werd bepaald op alle realistische lichtniveaus. Op basis van de statistiek van de in Nederland voorkomende lichtniveaus wordt, wanneer mogelijk, berekend welk percentage van de nachten een HV-kijker voldoende resolutie heeft om voor een taak inzetbaar te zijn. De nieuwere kijkers blijken tot 50% van de nachten vaker inzetbaar te zijn. Suggesties worden gedaan voor mogelijk hergebruik van de PG1MS.

Evaluation of the usability of the PG1MS night-vision goggle

F.L. Kooi

SUMMARY

The PG1MS night-vision goggle (NVG) was compared to more modern NVGs on visual acuity and vehicle detection. Visual acuity was measured over a large range, covering all relevant light levels. When possible, the percentage of nights a NVG yields sufficient resolution to perform a task was calculated, using the statistical distribution of nighttime light levels in The Netherlands. The more modern NVGs can be used in up to 50% more of the nights for target detection. Suggestions are made for possible further use of the PG1MS NVGs.

1 INTRODUCTIE

Er zijn vragen gerezen over de inzetbaarheid van de PG1MS helderheidsversterker. Deze HV-kijker is in de jaren 70 door de KL aangeschaft voor chauffeurs. Gedeeltelijk vanwege de slechte hoofdbestijging en gedeeltelijk vanwege het gebruik van black-out verlichting zijn de kijkers niet echt veel gebruikt. In een eerdere evaluatie bleken de kijkers naar behoren te functioneren en te voldoen aan de gestelde eisen (Kooi, 1994). Aan de andere kant blijken de kijkers in de praktijk vaak niet te voldoen (Majoor Buimer, OCI; Majoor Vlijm, KCT). Naast de slechte hoofdbestijging is waarschijnlijk de beperkte beeldkwaliteit hiervan de oorzaak. De PG1MS, een eerste generatie buis, is minder geschikt voor lichtniveaus beneden de 1 mlx en is niet uitgerust met "anti-blooming" (Kooi, 1994). De DMKL heeft gevraagd om de bruikbaarheid van de PG1MS te evalueren voor drie specifieke taken:

- A voertuigdetectie
- B rijden in een voertuig met ingeschakelde black-out verlichting
- C lopen in open en in bebost terrein.

In het voorliggende rapport wordt de beeldkwaliteit van de PG1MS vergeleken met die van nieuwere HV-kijkers op alle realistische lichtniveaus. Op basis van de statistiek van de in Nederland voorkomende lichtniveaus wordt, wanneer mogelijk, berekend welk percentage van de nachten een HV-kijker voor een taak inzetbaarheid is.

2 PROJECT OVERZICHT

Het project omvat vijf stappen welke hier genoemd en vervolgens behandeld worden.

- 1 nachtelijke lichtniveaus in Nederland
- 2 vertaalslag van hemel-lichtniveau naar terrein / object luminantie
- 3 prestatie van de HV kijkers als functie van lichtniveau
- 4 visuele criteria voor praktijksituaties
- 5 berekening van inzetbaarheid.

Nachtelijke lichtniveaus zijn, net als de lichtniveaus overdag, niet constant maar fluctueren met de stand van de zon en de maan en met de bewolking. De luminantie van objecten wordt voorts ook beïnvloed door de reflectiefactor van het object en van mogelijke schaduwwerking. In hoofdstuk 3 wordt de verdeling van nachtelijke lichtniveaus in Nederland beschreven en in hoofdstuk 4 wordt het effect van reflectie en schaduwwerking beschreven. Met de prestatie van een HV-kijker als functie van lichtniveau (hoofdstuk 5) en criteria voor specifieke taken (hoofdstuk 6) kan vervolgens de inzetbaarheid van een HV-kijker worden berekend in termen van het aantal nachten dat de kijker voldoende beeldkwaliteit biedt.

3 VERDELING VAN LICHTNIVEAUS IN NEDERLAND

De statistische verdeling van nachtelijke lichtniveaus in Nederland, zonder kunstverlichting, is bepaald door Van Schie (1969). In hoeverre de lichtniveaus met kunstverlichting van deze

waarden afwijken is niet bekend. Bijna overal in Nederland is (strooi)licht van openbare verlichting aanwezig. De belangrijkste gegevens zijn in Tabel I weergegeven. Het lichtniveau is gemeten in het open veld, tussen 8 uur 's avonds en 4 uur 's ochtends. De locatie was Meppen in Duitsland (nabij de grens met Nederland) omdat het in 1969 al onmogelijk was om binnen Nederland een geschikte meetlocatie te vinden vanwege het alom aanwezige kunstlicht.

Tabel I De verdeling van nachtelijke lichtniveaus in oost Nederland zonder kunstverlichting naar Van Schie (1969).

nachtelijke conditie	hemel lichtniveau (mlx)	percentage voorkomen
zwaar bewolkte sterrenhemel	0.01–0.1	0.5
sterrenhemel	0.1–1 1–10	39.2 29.7
kwart maan	10–100	26.2
volle maan	100–1000	4.4

4 VERTAALSLAG VAN HEMEL-LICHTNIVEAU NAAR TERREINHEDDERHEID

Voor de helderheidsversterker is normaliter de helderheid van het terrein van belang, niet de helderheid van de hemel. De luminantie van een object dat $\beta \cdot 100$ procent van het licht reflecteert is gegeven door

$$L \text{ (cd/m}^2\text{)} = \beta * \frac{E \text{ (lx)}}{\pi} \quad (1)$$

waarbij L de luminantie (helderheid) van het object is, β de luminantiefactor van het object en E het hemel lichtniveau. De luminantiefactor is de mate waarin een object licht reflecteert; voor een perfect wit object is $\beta=1$ en voor een zwart object is $\beta=0$. Waarden voor een aantal structuren zijn gegeven in Tabel II¹.

¹ Deze luminantiefactoren gelden voor natuurlijk zicht en voor eerste en tweede generatie helderheidsversterkers. Het spectrale gevoeligheidsspectrum van derde-generatie buizen is verschoven naar langere golflengten (infrarood) waar andere luminantiefactoren gelden.

Tabel II De luminantiefactor (β) voor een aantal structuren.

(terrein) structuur	luminantiefactor
zand	0.5
gras	0.2
beton	0.3
asfalt	0.1
bladeren	0.3
camouflagepak	0.1

4.1 Reductie in helderheid door schaduw

Met formule (1) en Tabel II kunnen de luminanties van objecten en achtergronden in het open veld berekend worden. Voor schaduwrijke omgevingen is de verlichtingssterkte lager dan in het open veld. Door middel van een aantal veldmetingen is bepaald hoeveel de verlichtingssterkte afneemt in een aantal militair relevante locaties. Tijdens de metingen, verricht in Soesterberg, was het weer zwaar bewolkt waardoor het licht egaal verdeeld was². De metingen staan vermeld in Tabel III, foto's van de gemeten locaties staan in de Bijlage. Het meetvlak van de luxmeter werd horizontaal en verticaal gehouden in het open veld, onder een alleenstaande boom, op een landweg met aan weerszijde bomenrijen, en in een bos. De horizontale meting in het open veld is als referentie (100%) gekozen omdat deze overeenkomt met de Van Schie (1969) conditie.

Tabel III Effect van schaduw op de verlichtingssterkte (%). De horizontale verlichtingssterkte in een open veld is als referentie (100%) gekozen.

Locatie	Lichtreductie t.o.v. open veld	
	horizontaal	verticaal
open veld	100% (ref.)	44%
boom	14%	13%
landweg	81%	23%
bos	11%	3%

² De meeste nachtelijke lichtcondities hebben een egale verdeling (maan bij bewolkt weer, sterren bij helder weer, sterren bij bewolkt weer). Alleen een maan bij helder weer leidt tot een niet-egale lichtverdeling.

De verticale verlichtingssterkte op het open veld behoort 50% van de horizontale verlichtingssterkte te bedragen omdat de meter door de helft van de lucht belicht wordt. De horizontale en verticale verlichtingssterkte onder een alleenstaande boom waren 14% respectievelijk 13% van de hemelverlichting gemeten in het open veld. De horizontale verlichtingssterkte op de landweg neemt nauwelijks af terwijl de verticale verlichtingssterkte met een factor 0,23 afneemt. In een gemiddeld bos neemt de verlichtingssterkte verder af tot respectievelijk 11% en 3%.

Met deze gegevens kan de verdeling van verlichtingssterkte omgerekend worden naar een verdeling van luminantie. Als voorbeeld wordt hier de verdeling gegeven voor een man in camouflagepak onder een alleenstaande boom. De verlichtingssterkte ter plekke is gereduceerd tot 14% (Tabel III) en de reflectie is 0.1 (Tabel II). De luminantie is dan

$$L \text{ (cd/m}^2\text{)} = 0.1 * 0.14 \frac{E \text{ (lx)}}{\pi} = \frac{E_{\text{grond}} \text{ (lx)}}{\pi} \quad (2)$$

Fig. 1 laat de cumulatieve kansverdeling zien van de luminantie van een wit horizontaal vlak in het open veld en van een man in camouflagepak onder een bomenrij. Uit Fig. 1 blijkt dat de lichtniveaus van militair interessante objecten van zeer lage luminantie kunnen zijn.

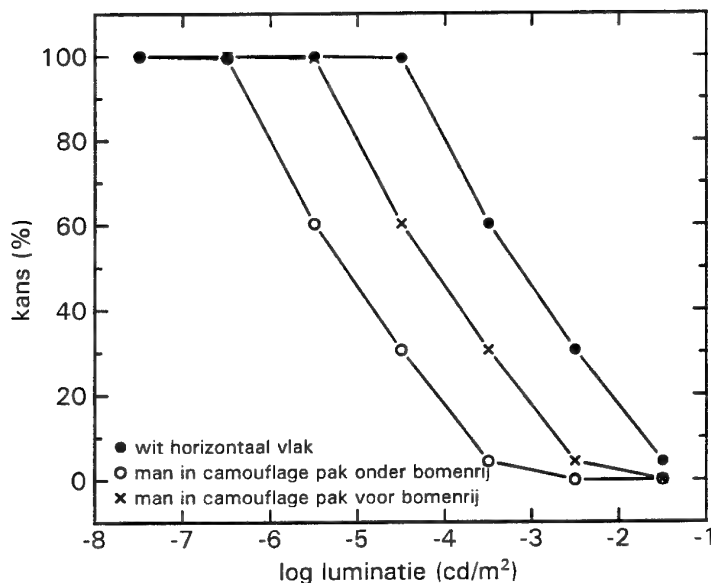


Fig. 1 Cumulatieve kansverdeling van de nachtelijke luminantie voor donkere en lichte objecten. De objecten zijn: 1 een wit horizontaal vlak in het open veld, 2 een man in camouflage pak onder een bomenrij, en 3 een man in camouflage pak in het open veld. De man in de schaduw is $100\times$ donkerder dan het witte vlak. De grafiek geeft voor elke luminantie aan wat de kans is dat het object niet donkerder zal zijn.

De keuringseisen voor de meeste nachtzichtkijkers worden op 1 mlx en 30 mlx ofwel 0.32×10^{-3} cd/m² en 9.6×10^{-3} cd/m² bepaald³. Aangezien de man onder de boom in ten minste 90% van de nachten donkerder is dan 0.32×10^{-3} cd/m², ligt het voor de hand om nachtzichtapparatuur óók op lagere lichtniveaus te testen.

4.2 Definitie van inzetbaarheid

Inzetbaarheid wordt hier gedefinieerd als het percentage van de nachten dat een bepaalde taak uitgevoerd kan worden. Om inzetbaarheid te berekenen moeten naast de verdeling van nachtelijke lichtniveaus ook de kwaliteit van de kijker als functie van lichtniveau en een taakcriterium bekend zijn. Hoofdstuk 5 richt zich op het meten van de kwaliteit van kijkers en hoofdstuk 6 richt zich op het bepalen van criteria voor taken in de praktijk.

5 GEZICHTSSCHERPTE MET HV-KIJKERS ALS FUNCTIE VAN LICHTNIVEAU

Om een goede indruk te krijgen van de beeldkwaliteit van nachtzichtkijkers werd op het Marine Electronisch Optisch Bedrijf (MEOB) in Oegstgeest gezichtsscherpte gemeten voor een groot bereik in lichtniveaus: variërend van 10^{-1} lx tot 10^{-7} lx. Aangezien de gezichtsscherpte op de lagere lichtniveaus lager is dan met de standaard stimuli te bemeten is, moest voor deze metingen een nieuwe stimulus ontwikkeld worden. Uit de literatuur (Van Meeteren, 1979; Vos & Van Meeteren, 1991; Rabin, 1994a,b) en uit persoonlijke communicatie met Dr. Rabin (Ft. Rucker, Alabama) blijkt dat er voor de evaluatie van HV-kijkers in feite geen bevredigende testpatronen bestaan. De praktijk situatie is namelijk vrij complex: doelen variëren in grootte, contrast, en luminantie. De bestaande laboratorium taken zijn een drastische simplificatie van de werkelijkheid. Van Meeteren benaderde de werkelijkheid het best door detectie- en herkenningstaken uit te voeren op dia's van buitenscènes. Deze methode is echter niet toepasbaar met de MEOB collimator omdat het een vast testpatroon bevat dat niet tijdens de meting gewisseld kan worden. Gekozen is voor het patroon van Fig. 2 vanwege het grote bereik in resolutie⁴. De proefpersoon gaf aan waar de balken nog net oplosbaar zijn. Gezichtsscherpte wordt gegeven in termen van 1/boogminuut en refereert naar de breedte van de balk waar deze nog net oplosbaar is. De meting is, evenals de MEOB tests, subjectief. Vier ervaren waarnemers maten ieder één keer. De metingen werden verricht met de daarvoor beschikbare, door het MEOB gebouwde, collimator.

Fig. 3 laat de gemiddelde gezichtsscherpte met standaard deviatie zien voor de PG1MS, de Lunos, en de vier keer vergrotende HV richtkijker (PB4DS). De gezichtsscherpte en de luminantie zijn logaritmisch uitgezet. Deze notatie is gebruikelijk bij psychofysische metingen.

³ De testpatronen zijn de helft van de achtergrondluminantie, namelijk 15 mlx en 0.5 mlx.

⁴ Idealiter zou naast de gezichtsscherpte ook de *contrastgevoeligheid* gemeten zijn. Binnen de beschikbare tijd is dit niet mogelijk geweest.

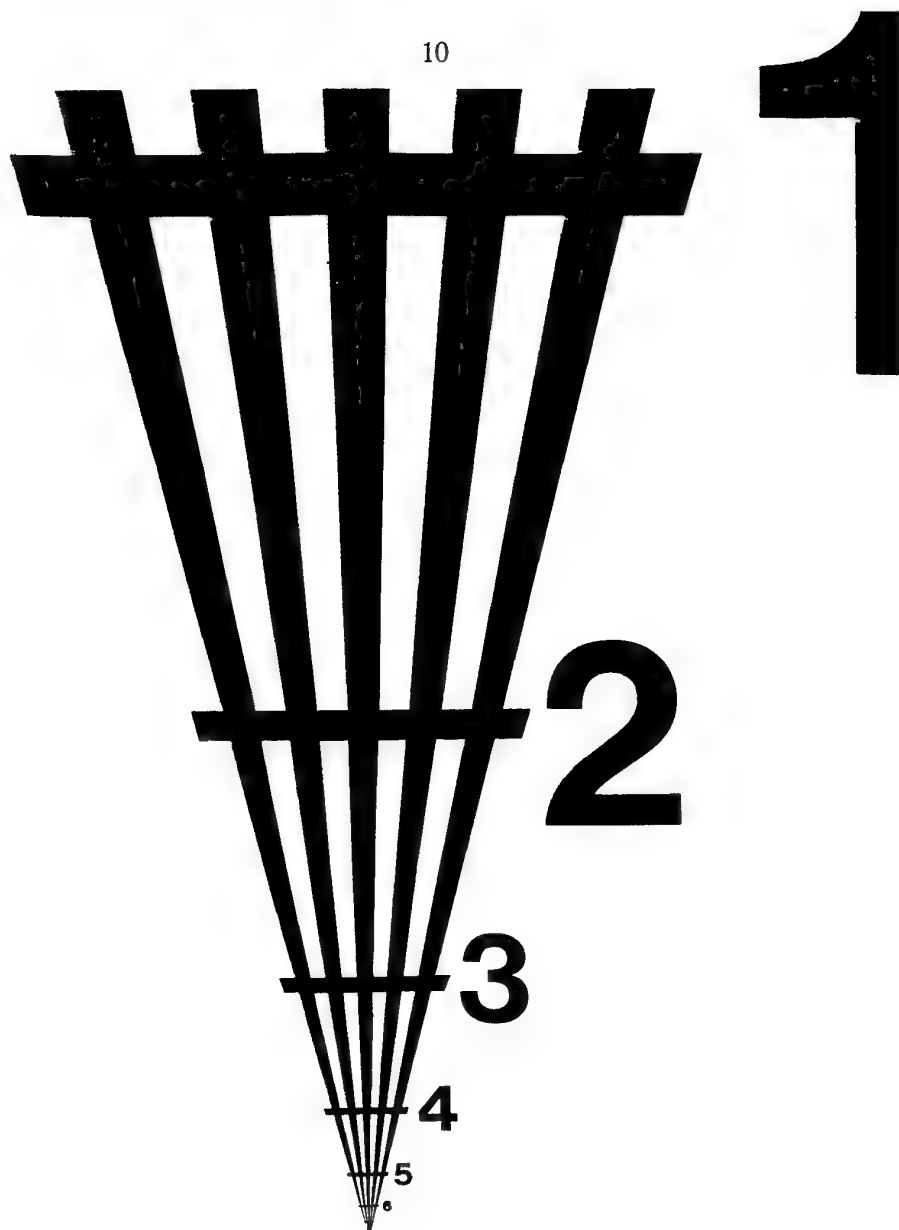


Fig. 2 Gezichtsscherpte "kaart". Deze stimulus heeft een zeer groot bereik in resolutie wat gezichtsscherpte bepaling bij zeer lage lichtniveaus toestaat. Gezichtsscherpte wordt gegeven in termen van $1/\text{boogminuut}$ (bgmin^{-1}) en refereert naar de breedte van de balk waar deze nog net oplosbaar is, dat wil zeggen, waar de balken nog net als afzonderlijk kunnen worden onderscheiden. Gezichtsscherpte=1 komt overeen met 1.75 lijnenpaar per milli-radiaal (lp/mrad). Het contrast van de balken is hoog ($> 80\%$).

Met dalend lichtniveau vindt een geleidelijke verslechtering in gezichtsscherpte plaats. Het is hierdoor niet mogelijk om een specifiek lichtniveau aan te duiden waar een HV kijker niet meer voldoet. Het is wel mogelijk om aan te duiden hoe de verschillende kijkers onderling vergelijken op deze taak. De vergrotende kijker (PB4DS) was verre superieur op alle lichtniveaus gevolgd door de Lunos; de PG1MS is beduidend slechter. De Lunos curve is iets meer dan 1 logunit naar links verschoven ten opzichte van de PG1MS curve wat betekent dat voor deze resolutietaak de Lunos 10 à 30× lager in lichtniveau kan gaan. De PB4DS kan 100× lager in lichtniveau. De gezichtsscherpte bij 1.5 mlx is met de PG1MS 6× beter dan met het blote oog. Vergeleken met het ongewapende oog geeft óók de eerste

generatie PG1MS wat resolutie betreft een enorm voordeel aan de gebruiker. Om vervolgens inzetbaarheid van de kijkers te berekenen zijn criteria nodig: welke gezichtsscherpte is vereist om een specifieke taak uit te kunnen voeren? Dit onderwerp wordt in hoofdstuk 6 behandeld.

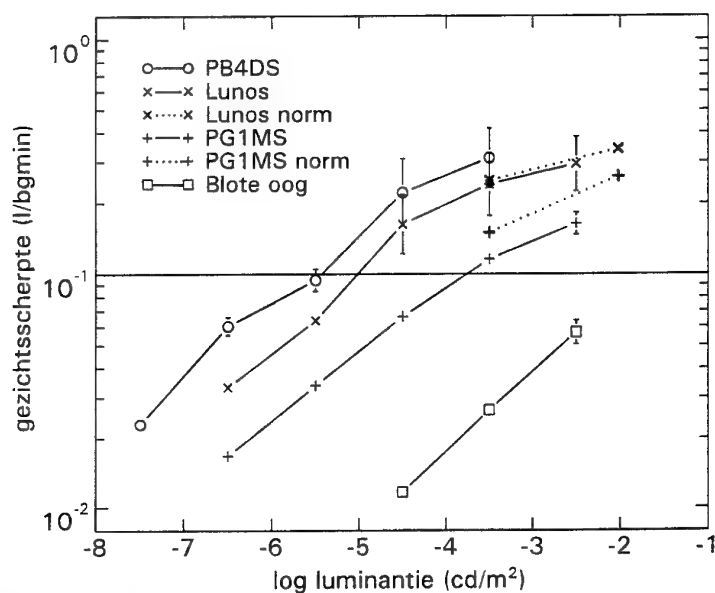


Fig. 3 Gezichtsscherpte met standaard deviatie in bgmin^{-1} (verticaal) als functie van luminantie (horizontaal) voor het blote oog en voor drie soorten HV-kijkers, gemeten op de verplaatsbare collimator van het MEOB (zie tekst). De normen waaraan de PG1MS en de Lunos minimaal moeten voldoen zijn verbonden met een stippellijn.

6 VELDBEPROEVING

Tijdens een korte veldbeproeving is getracht om (i) criteria vast te stellen voor een aantal taken, en (ii) om de laboratorium gezichtsscherptetest te valideren op zijn bruikbaarheid. Mede daarom is in de veldtest naast de praktijkproeven ook de gezichtsscherpte meting herhaald.

6.1 Locatie

De veldbeproeving vond plaats op 19 december 1995 nabij Harderwijk in half bebost terrein. Er was een heldere sterrenhemel zonder maan. Verse sneeuw op de grond veroorzaakte verhoogd contrast van doelen met de achtergrond op de bospaden en open velden.

6.2 Lichtniveaus

Het lokale lichtniveau werd om 11:30 gemeten met een Pritchard fotometer gericht op een horizontaal wit vlak. De luminantie was 1.5 mlx, berekend uit de door de fotometer gemeten luminantie ($4.6 \cdot 10^{-4} \text{ cd/m}^2$). Volgens de metingen van Van Schie (1969) is 1.5 mlx voor Nederland gemiddeld: de helft van de nachten zijn donkerder en de helft lichter. De waarde komt goed overeen met de door Van Schie (1969) berekende verlichting voor een maanloze heldere nacht (1.1 mlx). Ter verificatie van het lichtniveau werd ook in het veld de gezichtsscherpte bepaald. Het lichtniveau kon artificieel worden verlaagd door een filter voor de HV-kijkers te houden. Op deze manier konden metingen gedaan worden variërend van het gemiddelde (1.5 mlx) tot zeer lage lichtniveaus (10^{-3} mlx).

6.3 HV-kijkers

Naast de PG1MS zijn de volgende HV-kijkers onderzocht: de Lunos tweede generatie kijker van Delft Instruments, de Clara tweede-generatie kijker van Sopelem-Sofratec en de AN/PV-7B derde-generatie kijker van ITT. Deze modernere kijkers dienen ter vergelijking. Alle kijkers hebben een vergroting van $1\times$. De binoculaire PG1MS is beduidend zwaarder (1 kg) dan de nieuwere binoculaire kijkers (ca. 0.5 kg) welke gebruik maken van één HV-buis.

6.4 Meetprocedure

6.4.1 Gezichtsscherpte

Gezichtsscherpte werd ter plekke gemeten met hetzelfde patroon dat bij de laboratorium metingen werd gebruikt (hoofdstuk 5) ter verificatie van deze metingen. Voor sommige kijkers werd de meting herhaald met filter. De kijkafstand bedroeg 2 m.

6.4.2 Voertuigdetectie

Een Mercedes Jeep van de KL stond op ca. 80 m afstand opgesteld in de berm van de weg. De directe achtergrond bestond uit een rij bomen waardoor de achtergrondhelderheid van de omgeving van het voertuig laag was. De taak van de proefpersoon was om in te schatten of het voertuig met een HV-kijker wel of niet detecteerbaar was. Door de beperking in meettijd was het niet mogelijk om een criteriumvrije taak uit te voeren. De proefpersonen werden geïnstrueerd om zoveel mogelijk hetzelfde criterium te blijven handhaven. De experiment-leider (FK) plaatste verzwakkende filters voor de kijkers waarmee het effectieve lichtniveau verlaagd kan worden. Het lichtniveau waarbij de zichtbaarheidsdrempel bereikt was, werd vervolgens vastgesteld door de proefleider. Als voorbeeld, wanneer detectie gemakkelijk was met de $10\times$ verzwakkende filter en niet haalbaar met de $30\times$ verzwakkende filter werd de drempel bepaald als één twintigste van lichtniveau ter plekke (dus één twintigste van $1.5 \text{ mlx} = 7.5 \cdot 10^{-5} \text{ lx}$). Vijf proefpersonen voerden deze taak uit, waarvan twee militair, twee medewerkers van het MEOB en de auteur. Elke meting werd één maal verricht.

6.4.3 Terreinherkenning

Bovenstaande taak bepaalt bij welk lichtniveau het voertuig net detecteerbaar is. Om de PG1MS zo direct mogelijk te vergelijken met de Lunos en de Clara werd vervolgens een *relatieve* meting uitgevoerd. Het zicht door de PG1MS zonder filter werd vergeleken met het zicht door de andere kijkers met filter. De proefpersoon gaf aan welke van de twee kijkers het beste zicht gaf op de directe omgeving (bos en bospad). De proefleider paste de filtersterkte aan totdat de twee kijkers een equivalent beeld gaven in termen van terreinherkenning.

6.4.4 Rijden met en zonder black-out verlichting

De meerwaarde van de HV-kijkers bij het rijden met black-out verlichting en het lopen door terrein zijn alleen subjectief geëvalueerd en verbaal gerapporteerd.

6.5 Resultaten

6.5.1 Gezichtsscherpte

De gezichtsscherpte resultaten, het gemiddeld over de vijf proefpersonen, staan in Fig. 4. Een vergelijking tussen Figuren 3 en 4 laat zien dat voor de PG1MS en de Lunos de gezichtsscherpte in het veld en in het lab bijna identiek zijn. Deze overeenkomst bevestigt de gehanteerde meetprocedures in lab en veld.

6.5.2 Resultaten voertuigdetectie

In Fig. 5 (grijze balken) staat aangegeven tot welk lichtniveau het voertuig herkend kon worden met de vier HV-kijkers. Het gemiddelde van de vijf proefpersonen met standaarddeviatie staat uitgezet. Om de vergelijking met de gezichtsscherpte resultaten direct te kunnen maken staan de resultaten weergegeven op dezelfde schaal als Figuren 1, 3 en 4. De luminantie is de hoeveelheid licht weerkaatst van een wit horizontaal vlak, gerelateerd aan het lichtniveau volgens formule (1) in hoofdstuk 4. Met de PG1MS was de Mercedes Jeep alleen zonder filter zichtbaar, dus tot op het werkelijke lichtniveau van $4.6 \cdot 10^{-4} \text{ cd/m}^2$. De Lunos, Clara, en de AN/PV-7B gaven een beter zicht en met deze kijkers was het voertuig ook zichtbaar bij lagere lichtniveaus, gesimuleerd door middel van de lichtverzwakkende filters. De zichtbaarheidsdrempel werd bereikt bij respectievelijk 6.6, 17, en $20 \times$ lagere lichtniveaus (het gemiddelde van de 5 proefpersonen). Deze laatste HV-kijker heeft wat betreft de detectietaak dus fors groter bereik in lichtniveau dan de PG1MS; de Lunos kan iets minder dan $10 \times$ lager in lichtniveau.

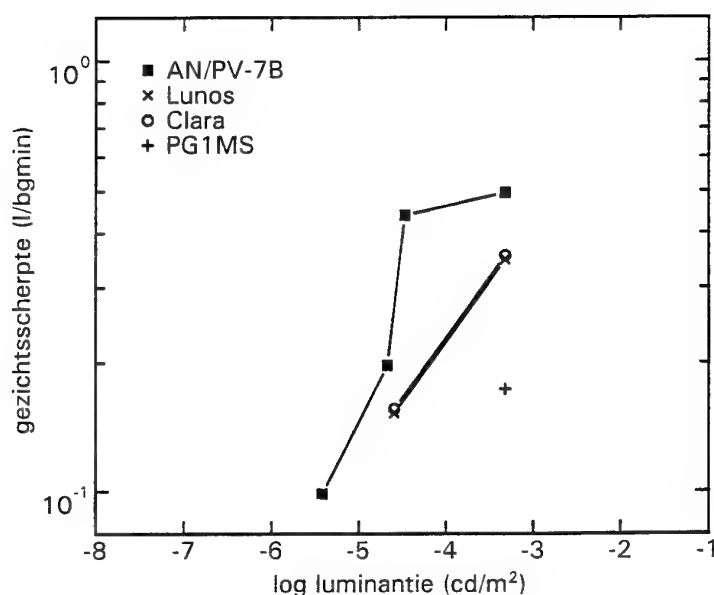


Fig. 4 Gezichtsscherpte in bgmin^{-1} (verticaal) als functie van luminantie (horizontaal) voor vier soorten HV-kijkers, gemeten tijdens de veldbeproeving.

In principe is voertuigdetectie gerelateerd aan gezichtsscherpte: zijn voldoende details zichtbaar voor detectie⁵? De gemeten verschillen tussen de vier HV-kijkers voor voertuigdetectie komen inderdaad goed overeen met de verschillen in gezichtsscherpte (Figuren 3 en 4) en terrein herkenning (Fig. 5, open balken). (De enige afwijking vindt plaats met de Lunos die minder goed scoort dan de Clara op voertuigdetectie.) Deze overeenkomst toont aan dat de gezichtsscherptemeting op de MEOB collimator waardevolle informatie verschaft over de bruikbaarheid van een kijker te velde.

6.5.3 Berekening inzetbaarheid voor voertuigdetectie uit velddata

Een maat van inzetbaarheid kan voor deze voertuigdetectietaak berekend worden aan de hand van de verdeling van lichtniveaus in Nederland (Tabel I) en de gemeten drempels (Fig. 5). Inzetbaarheid is in § 4.2 gedefinieerd als het percentage van de nachten dat een bepaalde taak uitgevoerd kan worden. De inzetbaarheid van de PG1MS voor Jeep detectie op 80 m afstand tegen een bosrand is 50% omdat het lichtniveau precies gemiddeld was voor een Nederlandse nacht. Voor de Lunos, de Clara, en de AN/PV-7B is de inzetbaarheid voor deze specifieke detectietaak respectievelijk 80%, 99%, en 100%. Inzetbaarheid voor voertuigdetectie op grotere afstanden is niet gemeten.

⁵ Een voor HV-kijkers mogelijk beter criterium is: is voldoende contrast aanwezig voor detectie? Aangezien er binnen het huidige project geen ruimte was om ook contrast gevoeligheid te meten is de discussie ook beperkt tot resolutie.

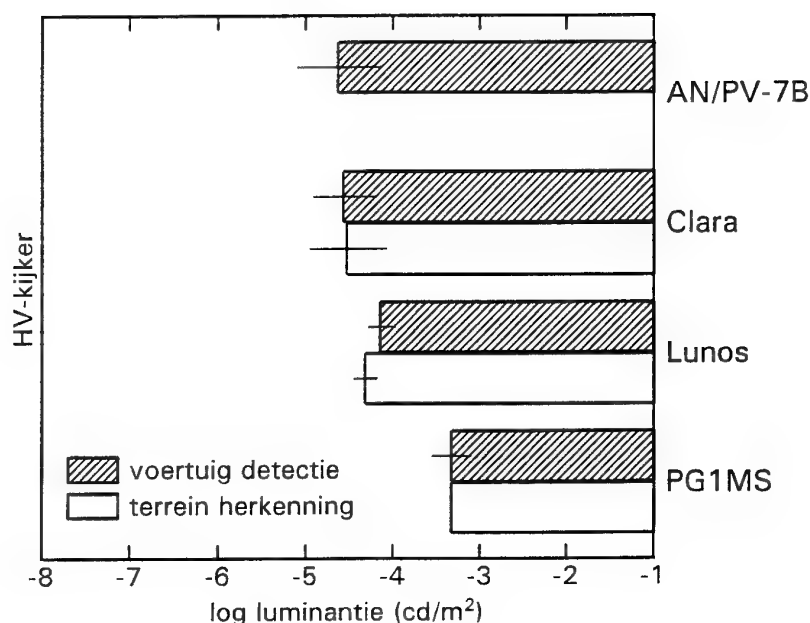


Fig. 5 Grijze balken: de luminantiewaarden waarop een Mercedes Jeep op 80 m afstand net kon worden gedetecteerd met de vier HV-kijkers. Open balken: de luminantiewaarden waarop de nieuwere kijkers equivalent waren in beeldkwaliteit aan de PG1MS wat betreft terrein interpretatie en herkenning.

6.5.4 Berekening inzetbaarheid voor voertuigdetectie uit laboratorium data

Indien mogelijk zou men graag inzetbaarheid berekenen uit de laboratorium resultaten. Hoewel het niet binnen de doelstelling van dit rapport valt, wordt hier een eerste aanzet gegeven waarbij er rekening mee moet worden gehouden dat de veldbeproeving onvoldoende data op heeft geleverd om dit verband grondig te evalueren. Fig. 4 laat zien dat met alle vier de HV-kijkers de gezichtsscherpte 0.2 bgmin^{-1} was wanneer het voertuig net detecteerbaar was (lichtniveau gegeven in Fig. 5). In § 2.2 is berekend dat het lichtniveau van het voertuig ongeveer $50\times$ lager was dan het lichtniveau van de witte, horizontaal georiënteerde gezichtsscherptekaart⁶. Uit Fig. 3 blijkt dat de gezichtsscherpte bij dit $50\times$ lagere lichtniveau ongeveer 0.07 bgmin^{-1} bedraagt. Op 80 m afstand komt dit overeen met een oplossend vermogen van 33 cm, ofwel ca. $1/5$ van de voertuigbreedte, ofwel $2 \frac{1}{2}$ lijnenpaar over de voertuigbreedte. Ter vergelijking, het Johnson criterium hanteert een kritisch oplossend vermogen van één lijnenpaar voor detectie van een voertuig tegen een egale achtergrond (Johnson, 1958). Het verschil wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de achtergrond structuur en de zeer effectieve camouflageverf van de Mercedes Jeep. Het PHIND model criterium (Vos & Van Meeteren, 1991) is niet gebaseerd op oplossend vermogen maar op contrast detectie, meer gepast omdat HV-kijkers "noise limited" zijn. Het hanteert detectie van een 70 cm schijf met contrast 2 als criterium voor voertuig herkenning (voor voertuigen met sterkere reflecties). Binnen de beperkingen van het huidige project was het niet mogelijk om de HV-kijkers met dit, waarschijnlijk superieure, type testpatronen te evalueren. Het

⁶ De meetapparatuur was niet in staat om deze lage lichtniveaus direct te kunnen meten.

modelmatig berekenen van inzetbaarheid vereist een uitgebreidere studie waarin de relatie tussen gezichtsscherpte, contrast gevoeligheid en voertuigdetectie uitgewerkt wordt.

6.5.5 *Terrein herkenning en patrouillelopen*

Het bepalen van equivalentie voor terrein herkenning (Fig. 5, open balken) geeft een bijna identiek beeld: de Lunos wordt op $10\times$ lager lichtniveau en de Clara op $16\times$ lager lichtniveau als gelijkwaardig beschouwd wat betreft terrein herkenning⁷. Samengevat suggereren deze resultaten dat de modernere kijkers evengoed functioneren als de PG1MS bij 10 à $20\times$ lager lichtniveau, in overeenstemming met de literatuur (Bradley & Kaiser, 1993).

De bruikbaarheid van een HV-kijker voor patrouillelopen hangt niet alleen af van de gezichtsscherpte, maar ook van het gezichtsveld, de contrastweergave, en het gewicht van de kijker. Op twee van deze vier aspecten is de PG1MS inferieur vergeleken met nieuwere tweede- en derde-generatie kijkers (gewicht en resolutie); wat betreft grootte van het gezichtsveld en nauwkeurigheid van de contrastweergave is de PG1MS echter *beter*. De afweging tussen de PG1MS en de nieuwere HV-kijkers is wat betreft patrouillelopen daardoor afhankelijk van meerdere factoren. Binnen de omvang van het huidige project was geen ruimte voor een veldbeproeving patrouillelopen.

6.5.6 *Inzetbaarheid voor het rijden met en zonder black-out verlichting*

De zichtbaarheid van een voertuig kan in principe geëvalueerd worden aan de hand van een criterium: wanneer is het voertuig wel of niet zichtbaar? Tijdens de veldbeproeving bleek dat het rijden bij nacht en het lopen door terrein ook zonder HV-kijker konden worden uitgevoerd. Voor deze taken is daarom minder gemakkelijk een criterium vast te stellen, wat het berekenen van de inzetbaarheid bemoeilijkt. (Zonder criterium kan de inzetbaarheid niet berekend worden.) Door het OCM (Adj. Goessen) werd voorgesteld om het detecteren van kuilen in de weg te hanteren als criterium voor het rijden bij nacht. Hier wordt aan de hand van dit criterium een schatting gemaakt van inzetbaarheid voor rijden met en zonder black-out verlichting.

Laat de inzetbaarheid voor rijden bij nacht worden bepaald door de detectie van een 50 cm grote kuil op 20 m afstand voor het voertuig. De benodigde gezichtsscherpte zal ongeveer 10 cm op 20 m of 0.06 bgmin^{-1} zijn (zie § 6.5.4). Uit Fig. 3 blijkt dat de PG1MS bij 10^{-5} cd/m^2 voldoet aan deze norm. Uitgaande van een gemiddelde reflectie en schaduwwerking zal het in 80% van de nachten minstens zo helder zijn (Fig. 1). Voor de Lunos is de verwachting dat 99% van de nachten helder genoeg zullen zijn en met het blote oog slechts 20% van de nachten. Wanneer uitgegaan wordt van het Johnson criterium (of een twee keer gemakkelijker zichtbare kuil) ligt de berekende inzetbaarheid op 30%, 99%, en 100% voor respectievelijk het blote oog, de PG1MS, en de Lunos; voor een twee keer moeilijker zichtbare kuil op respectievelijk 5%, 45%, en 80%. De black-out verlichting geeft voldoen-

⁷ Van interesse is dat voor deze meest algemene taak ("hoe goed ziet het beeld er uit"), de spreiding tussen proefpersonen het grootst is. De minst ervaren waarnemer gaf het grootste verschil aan ($100\times$) en de meest ervaren waarnemer het kleinste verschil ($10\times$). Waarschijnlijk heeft de minst ervaren waarnemer de beelden gelijkgesteld op *helderheid* en niet op functionaliteit.

de licht voor deze taak. Hierbij moet worden opgemerkt dat deze berekeningen slechts niet geverifieerde schattingen zijn. Het is echter duidelijk dat de PG1MS voldoende resolutie levert om de grovere wegstructuren te kunnen zien.

6.6 Andere gebruikersaspecten van de PG1MS

Tijdens de beproeving bleek de PG1MS sneller te beslaan dan de andere kijkers. Hoogst waarschijnlijk is dit te wijten aan de overdracht van lichaamswarmte van de hand naar de kijker tijdens het gebruik. Normaliter vindt dit niet plaats omdat de kijker aan het hoofd is gemonteerd en niet in de hand wordt gehouden. Uit een eerdere beproeving bleek dat de PG1MS in principe modulair bevestigd kan worden aan de gevechtshelm. De binoculaire PG1MS is echter vrij zwaar (1 kg) en lang, wat het gebruikerscomfort niet ten goede komt (Kooi, 1994).

7 CONCLUSIES

DMKL heeft gevraagd om de bruikbaarheid van de PG1MS te evalueren voor object detectie en voor twee complexere taken: verplaatsing van voertuigen met ingeschakelde black-out verlichting en het lopen in open en bebost terrein. Om deze vragen te kunnen beantwoorden is een methode ontwikkeld om de inzetbaarheid van een kijker te berekenen aan de hand van gezichtsscherptemetingen.

1 *Gezichtsscherpte*

Gezichtsscherpte met HV-kijkers kan zowel in het laboratorium als in het veld gemeten worden voor alle relevante lichtniveaus. Naast het meten van gezichtsscherpte met hoog contrast patronen is het meten met laag contrast patronen wenselijk aangezien in de praktijk objecten vaak weinig contrast met de achtergrond hebben. Met het nieuwe testpatroon is de collimator methode van het MEOB bruikbaar bevonden om HV-kijkers ook bij lage tot zeer lage lichtniveaus te kunnen testen.

2 *Inzetbaarheid*

Inzetbaarheid is gedefinieerd als het percentage van de nachten in een jaar dat de HV-kijker voor een bepaalde taak gebruikt kan worden. De inzetbaarheid van HV-kijkers kan geschat worden aan de hand van (i) in het laboratorium gemeten gezichtsscherpte, en (ii) de helderheid en omgeving van de te detecteren objecten. Voor Landmacht relevante situaties is het van essentieel belang om de invloed van schaduwwerking en camouflagemateriaal mee te nemen in de berekening. Door middel van de berekening is de inzetbaarheid van de PG1MS vergeleken met andere HV-kijkers.

3 *Voertuigdetectie*

De PG1MS geeft een groot voordeel boven het blote oog voor het 's nachts detecteren van kleinere objecten. De nieuwere kijkers zijn echter nog beter en gaan 10 à 30× lager in lichtniveau. Dit heeft een stijging in inzetbaarheid van 60% naar 100% tot gevolg voor

voertuigdetectie op 80 m afstand aan een bosrand. Voor grotere afstanden en andere objecten kan het verschil oplopen van 5% inzetbaarheid voor de PG1MS tot 30% à 60% inzetbaarheid voor de nieuwere kijkers. Het is duidelijk dat de oudere PG1MS veel minder goed is dan de nieuwere tweede generatie kijkers. Echter, voor de PG1MS geldt wel "iets is beter dan niets".

4 Verplaatsingen met en zonder ingeschakelde black-out verlichting

De black-out verlichting geeft voldoende licht om ook zonder HV kijker te opereren (ervaring OCMan, AOOI Goessen). De PG1MS is zeker nuttig voor het detecteren van kuilen in de weg en naar alle waarschijnlijkheid in de meeste nachten voldoende voor navigatie op de weg volgens de berekende inzetbaarheid.

5 Lopen in open en bebost terrein

Vergeleken met het ongewapende oog is de bruikbaarheid van de PG1MS voor het lopen van beperkt nut omdat de winst in detectie-afstand samengaat met een beperkt gezichtsveld (ca. 40°), extra gewicht, en moeizame dieptewaarneming en terrein herkenning. De afweging tussen PG1MS en nieuwere kijkers kan niet alleen aan de hand van gezichtscherptemetingen bepaald worden en vergt een uitgebreidere beproeving.

6 Gebruiksmogelijkheden PG1MS

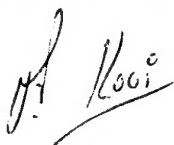
Naast de mogelijkheid om de PG1MS aan de helm te bevestigen, is een alternatief om de PG1MS als "veldkijker" te gebruiken die niet vast aan de helm of het hoofd gemonteerd is maar in de hand wordt gehouden. Met andere woorden, de PG1MS zou gebruikt kunnen worden als "leesbril voor veraf" door de kijker om de hals te hangen i.p.v. permanent op de helm te monteren. Hierbij moet rekening worden gehouden met de verhoogde kans op condens.

Samengevat, de inzetbaarheid van de PG1MS is t.o.v. modernere HV-kijkers beduidend minder. Voor bovengenoemde toepassingen heeft de PG1MS echter een duidelijke meerwaarde t.o.v. het ongewapende oog. Door inzetbaarheid van PG1MS en modernere HV-kijkers per taak te vergelijken kan een wel-overwogen beslissing genomen worden.

REFERENTIES

- Bradley, A. & Kaiser, M.K. (1994). *Evaluation of visual acuity with Gen 3 night vision goggles* (Report NAS 1.15:108792). Moffett Field, CA: NASA.
- Johnson, J. (1958). Analysis of image forming systems. *Proceedings of the Image Intensifier Symposium*, Fort Belvoir, VA: 249-273.
- Kooi, F.L. (1994). *Nieuwe bevestigingsmethoden voor de PG1MS helderheidsversterker* (Rapport TNO-TM 1994 A-14). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Meeteren, A. van (1979). *Voorspelling van het afstandsbereik van kijkers met helderheidsversterking* (Rapport IZF 1979-24). Soesterberg: Instituut voor Zintuigfysiologie⁸.
- Rabin, J. (1994a). *Visual evoked potential through night vision goggles; Final report*. Fort Rucker, AL: Army Aeromedical Research Lab.
- Rabin, J. (1994b). *Flicker detection through night vision goggles; Final report*. Fort Rucker, AL: Army Aeromedical Research Lab.
- Schie, J. van (1969). *Nocturnal illumination and decrease of contrast in the atmosphere* (Report TNO-FEL 1969-4). Den Haag, The Netherlands: TNO Physics and Electronics Laboratory.
- Vos, J.J. & Van Meeteren, A. (1991). PHIND: an analytic model to predict target acquisition distance with image intensifiers. *Applied Optics*, 30, 958-966.

Soesterberg, 17 juni 1996

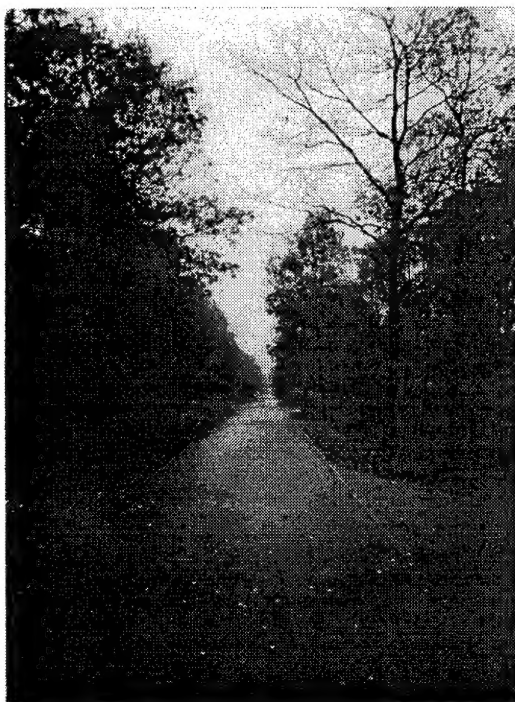


Dr. F.L. Kooi
(author, project manager)

⁸ Op 1 januari 1994 werd de naam "Instituut voor Zintuigfysiologie TNO" vervangen door "TNO Technische Menskunde".

BIJLAGE: Schaduwwerking

De foto's laten schaduwwerking zien onder een alleenstaande boom (boven), langs een bosweg (rechtsonder), en in een bos (linksonder). De hoeveelheid licht in de schaduw staat in Tabel III vermeld.



REPORT DOCUMENTATION PAGE		
1. DEFENCE REPORT NUMBER (MOD-NL) RP 96-0161	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER TM-96-A025
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 786.2	5. CONTRACT NUMBER A93/KL/363	6. REPORT DATE 17 June 1996
7. NUMBER OF PAGES 20	8. NUMBER OF REFERENCES 8	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Interim
10. TITLE AND SUBTITLE Evaluatie inzetbaarheid van de PG1MS nachtzichtkijker (Evaluation of the usability of the PG1MS night-vision goggle)		
11. AUTHOR(S) F.L. Kooi		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Human Factors Research Institute Kampweg 5 3769 DE SOESTERBERG		
13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Director of Army Research and Development Van der Burchlaan 31 2597 PC DEN HAAG		
14. SUPPLEMENTARY NOTES		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 BYTE) The PG1MS night-vision goggle (NVG) was compared to more modern NVGs on visual acuity and vehicle detection. Visual acuity was measured over a large range, covering all relevant light levels. When possible, the percentage of nights a NVG yields sufficient resolution to perform a task was calculated, using the statistical distribution of nighttime light levels in The Netherlands. The more modern NVGs can be used in up to 50% more of the nights for target detection. Suggestions are made for possible further use of the PG1MS NVGs.		
16. DESCRIPTORS Illumination Image Intensifiers Night Vision Visual Acuity		IDENTIFIERS
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)
18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT Unlimited availability		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES)

VERZENDLIJST

1. Directeur M&P DO
2. Directie Wetenschappelijk Onderzoek en Ontwikkeling Defensie
Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KL
3. {
Plv. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KL
4. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KLu
Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KM
5. {
Plv. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KM
- 6, 7 en 8. Bibliotheek KMA, Breda
- 9 t/m 18. LKol. G.H. Bakema, Hoofd Plannen Opleidings Centrum Infanterie, Sectie Plannen OCI, Harderwijk

Extra exemplaren van dit rapport kunnen worden aangevraagd door tussenkomst van de HWOs of de DWO.